

Адсорбционная эллипсометрическая порометрия пористых пленок PZT

А.С. Вишнеvский, Д.С. Серегин, К.А. Воротилов

МИРЭА – Российский технологический университет, 119454 Москва, Российская Федерация
e-mail: vishnevskiy@mirea.ru

Пористая сегнетоэлектрическая керамика, включая тонкие пленки, используется и исследуется для различных применений в электронике, включая устройства микромеханики, пьезоэлектрические приемники, устройства сбора энергии, гидрофоны и пр. Как правило, пористость пленок для подобных применений составляет 10-30%, а размер пор может изменяться от единиц до десятков нанометров. Очевидно, что параметры пористой системы необходимо контролировать, т.к. они определяют структурные, механические и электрические характеристики сегнетоэлектрических пленок. Большинство известных методов, включая эллипсометрию, электронную микроскопию, временную спектроскопию аннигиляции позитронов и пр. позволяют получить лишь ограниченную информацию о пористой структуре пленок. В данной работе впервые для количественного анализа пористых сегнетоэлектрических пленок был использован метод адсорбционной эллипсометрической порометрии [1].

Оценку пористости и распределения пор по размерам в тонких сегнетоэлектрических пленках проводили с использованием специально разработанной порометрической приставки к эллипсометру Sentech SE850. С ее помощью осуществляется прецизионное управление составом парогазовой смеси, подаваемой на образец. Открытую пористость пленок рассчитывали как объем конденсированного жидкого адсорбата (изопропилового спирта, ИПС), вычисленный с использованием модифицированного уравнения Лорентца-Лоренца [1] по значениям показателя преломления n , измеренного во время адсорбции/десорбции молекул адсорбата. Размер пор рассчитывали с использованием уравнения Кельвина по кривой постепенного заполнения пористой структуры – адсорбции, отражающей распределение полостей по размерам, и ее опустошения – десорбции, отражающей преимущественный размер перешейков между полостями [2].

В работе представлены результаты измерений золь-гель пленок PZT с различной пористой структурой, образованной структурообразующими компонентами – порогенами различного типа, с различным молекулярным весом (м.в.) и концентрацией (конц.). Показано, что метод адсорбционной эллипсометрической порометрии позволяет определить как общую пористость V_{full} , так и открытую пористость V_{open} , размер пор в диапазоне 0.3–30 нм, а также характерные неоднородности пористой структуры, а именно: преимущественный радиус пор R_{ads} , полуширину $\Delta_m R_{ads}$ распределения пор по размерам и радиус перешейков R_{des} , см. Табл. 1. Ограничения метода являются толщина d пленок более ~1 мкм и размер пор более ~30 нм (для адсорбата – ИПС). В докладе обсуждается также взаимосвязь пористой структуры и электрических характеристик пленок: диэлектрической проницаемости ϵ , остаточной поляризации P_r и коэрцитивного поля E_c .

Таблица 1. Характеристики пористой структуры пленок PZT и их электрические параметры.

Номер образца	Пороген		Конц.	Слои	d	n	V_{full}	V_{open}	R_{ads}	$\Delta_m R_{ads}$	R_{des}	ε_{min}	$\varepsilon^{(-)}$	$\varepsilon^{(+)}$	$P_r^{(-)}$	$P_r^{(+)}$	$E_c^{(-)}$	$E_c^{(+)}$
	тип	м.в.	вес.%	шт.	нм		%		нм						мкКл/см ²		кВ/см	
20-51-3	ПВП	360	1.0	11	472	2.45	5	1	9	8	2	186	584	577	-16.0	15.3	-54.7	65.1
20-53-2		000	6.6	7	636	1.87	31	>9	>32	22	17	143	474	466	-24.3	24.2	-64.2	74.2
30Br-1	Brij®	299	30	3	457	2.06	21	14	13	6	8	146	518	502	-17.3	12.0	-29.1	84.5
40Br-1	76		40	3	402	2.20	14	11	11	5	7	157	399	460	-18.2	13.6	-35.0	85.1

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-29-03058 МК.

1. M.R. Baklanov et al., *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* **812**, F5.4.1 (2004).
2. M.R. Baklanov et al., *J. Vac. Sci. Technol. B* **18**, 1385 (2000).